

様式 C-19

科学研究費補助金研究成果報告書

平成 21 年 5 月 10 日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2006～2008

課題番号：18560273

研究課題名（和文） キャンパス配電システムを活用した電力システム実証実験システムの構築

研究課題名（英文） Development of Experimental System in coordination with Campus Distribution System for Power System Studies.

研究代表者

松木純也（MATSUKI JUNYA）

福井大学・工学研究科・教授

研究者番号：90089110

研究成果の概要：本研究では、キャンパス配電システムを活用して従来にない大規模な電力システム実証実験システムを構築し、これを用いて送電系統並びに配電系統の諸課題に対する具体的な対策を実証的に検討している。すなわち、本学実験室の現有設備である模擬送電線設備では、従来どおり主として送電系統における課題を検討した。さらに本学キャンパス内の配電システムを新たに実験実証用の電力システムと見立て、主として配電系統における課題を検討した。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合 計
2006 年度	1,800,000	0	1,800,000
2007 年度	700,000	210,000	910,000
2008 年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総 計	3,400,000	480,000	3,880,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電力工学・電気機器工学

キーワード：電力系統工学

1. 研究開始当初の背景

従来から、電力系統において生起する種々の現象の解析は、実系統における実験が困難なことから、主として計算機シミュレーションで検討されている。また近年デジタルの系統シミュレータが盛んに開発されているが、実機による実証試験による確認はあまりなされていない。

しかし、実際の電力機器は必ずしも正確に等価的な数学モデルで置き換えることが出来るわけではなく、シミュレーションは精度的に限界があり万能ではない。たしかに実験室での検討は規模において限界があることは否めないものの、系統に生起する実現象の

把握が、実験室規模で容易に行えることの利点は電力システムの研究において甚だ大きい意義がある。

本研究は、キャンパス配電システムを実験室化して、実証実験システムを従来に無く拡大し、同時に配電系統に関する問題や配電系統および送電系統両方に関わる問題などを、実験的に検討することができるようにする試みであり、これが実現することの意義はこの分野の研究において甚だ大きいものがある。

2. 研究の目的

本研究の目的は、現在一般に行われているシミュレーション主体の電力システム研究

に対して、

(1) 実験による実証性にこだわり、従来に無い大規模の電力系統実証実験システムを構築すること、及び

(2) これを用いて送電系統並びに配電系統の諸課題に対する具体的な対策を実証的に検討すること

である。

本研究の学術的な特色の第一は、一般には数学的モデルを用いたシミュレーションによる研究が多い電力系統の課題を、あくまで実験的実証性にこだわるところにある。

第二の特色は、実験的研究の弱点である規模の小ささを克服する試みであるということである。

この第二の特色について以下により詳しく述べる。

本研究は、従来から所有している模擬送電線設備を利用するとともに、大学キャンパス内の配電系統を、ミニ電力系統と見立てて、これを様々な電力系統の現象を解析するのに活用しようとするものである。このことは、最近新たに開発されたネットワーク情報端末NCTが利用できるようになってきたことにより実現可能となった。

大学キャンパスの利点は既に情報インフラが整備されていることである。学内各所にNCTを設置し、各所の電圧・電流・電力を、研究室で集中管理し、リアルタイムの電力消費状況、電圧、電流瞬時波形に現れる電力品質の一日あるいは月間、年間のトレンドなどを把握できるようにする。従来、配電系統の負荷の変化については、殆ど調査が行われていない。大学キャンパスは代表的な負荷を持つ配電系統のひとつであり、その詳細な把握は、重要な意義を持っている。

一方、実験室内に既設の模擬電力系統実験設備では、従来から、送電系統の電力現象を検討し、成果を挙げてきている。送電系統の課題は既設の模擬送電設備で、配電系統の課題はキャンパス系統で、できる限りの検討が可能となるように整備したい。

また配電系統でも従来送電系統の課題とされていた課題が無視できなくなっている。両系統は、実験室で、同期並列されて運用できるので、両系統にまたがる課題も検討可能となる。

3. 研究の方法

以下の研究方法によって研究を実施する。

(1) キャンパス配電系統のリアルタイム監視システムの確立

ネットワーク情報端末NCTを用いてキャンパス配電系統のリアルタイム監視システムを作り、配電系統における高調波、3相不平衡、などの電力品質、負荷モデル確立のための負荷インピーダンス測定、消費電力の

トレンドなどを把握する。

(2) TCSC, UPFC等のFACTS機器のデジタル制御化

既設の模擬送電線設備を用いて、TCSC, UPFC等のFACTS機器のデジタル制御化を進め、潮流制御並びに電圧制御の高度化を図る。

(3) 分散型電源の系統連系における課題の検討

既設の太陽光・風力発電のハイブリッド発電システムを模擬送電設備に連系して分散型電源の系統連系における課題を検討する。

(4) キャンパス配電系統の実験室化

実験室内模擬送電線設備による送電系統とキャンパス配電系統をインターネットを介して統合して、広域にわたる電力システム監視・制御の実験的検証が可能なシステムを作る。すなわちキャンパス配電系統の実験室化である。

(5) キャンパス配電系統を活用した電力系統実証実験システムの構築

以上を総合して、従来の実験室の枠をはるかに越え出た大規模の実験実証システムを構築する。

4. 研究成果

研究の方法に示した各項目に対応させて得られた結果及び今後の課題を述べる。

(1) キャンパス配電系統のリアルタイム監視システムの確立

① キャンパス配電系統の実測データをもとに配電系統の実態を把握し、電力品質に関する様々な事象に対して検証を行った。大学などの小規模な配電系統を内包している需要家に対して、電力会社は電力品質の監視をすることが困難である。また需要家内部の配電系統の把握というものも今まで行われることがなかったため、今回の実測データの収集及び解析による電力品質の検討は、非常に意義のあることである。

本研究では福井大学キャンパス配電系統へ、広域同期計測システムを導入し24時間の電力監視を行った。それによって得られたデータからキャンパス配電系統の実態を把握し、進相コンデンサによる高調波吸収効果や、過補償による問題など電力品質の観点から様々な事象を検証した。また、キャンパス配電系統への高調波解析用負荷モデルの適用、実測データをパラメータとした高調波電流源回路のシミュレーションモデルの作成を行った。

② 福井大学キャンパス配電系統で、2006年4月より継続してデータを計測し、電力品質の評価・比較を行った。測定した実測データを基に解析を行い、福井大学キャンパス配電系統における電力品質の年間変化に関する実態と特徴を把握し、電流に関しての品質も初

めて明らかにした。また、キャンパス配電系統では、受電端においては電力品質の管理目標値をいずれの季節においてもその基準値を満たしていることを確認した。

実態把握の結果より、電力品質向上対策として単相負荷の繋ぎ替えを実施し、単相負荷の繋ぎ替えによる電力品質の向上を確認した。

今後の課題として、WAMSを用いた面的な分布を明らかにし、実測データを基に高調波解析用負荷モデルを作成し、高調波に関する事象の解析を行う予定である。

(2) FACTS機器のデジタル制御

①本研究では、電力系統の動揺抑制効果向上を目的として、AVR、PSS、TCSCによる系統安定度向上について実験的に検討した。また、コンピュータネットワークを介したマルチエージェント方式による遠隔調整法を提示し、DSPボードを有するパーソナルコンピュータ上でMatlab/Simulinkを用いて制御システムを試作し、TCSCの点弧角 α 、AVR及びPSSを付加したAVRのパラメータの遠隔制御を行った。

②AVR、PSSについての検討

AVR制御系に同期発電機の回転速度偏差を取り入れることで、大きな動揺抑制効果があることが分かった。しかし、事故後の電力に動揺が見られたため、発電機の安定度向上に効果があるPSSを取り入れることで動揺を抑えることができた。PSSは、電力系統を線形近似してパラメータを設定した基本型PSSと、非線形性を考慮したファジー論理型PSSを用いて行なった。この時、ファジー論理型PSSを付加した場合が、基本型PSSよりも、より効果的であり安定度向上につながった。

③TCSCについての検討

TCSCは容量性領域で動作させることが系統の安定度を向上させることができることがわかった。

TCSCとAVR、PSSを付加したAVRを同時に系統に導入すると、評価値は悪くなってしまった。このことから、TCSCとAVR、PSSを付加したAVRを同時に動作させる時は、与えているパラメータを再設定し直す必要があることが分かった。

TCSCとファジー論理型PSSを付加したAVRを同時に導入すると、事故後の電力の動揺が収まるまでにかかる時間がTCSCのみの時よりも短縮され、動揺の抑制効果が高まっていることが確認できた。

④遠隔制御についての検討

TCSCの点弧角 α 、AVR及びPSSを付加したAVRのパラメータをリアルタイムで遠隔制御ができることを確認した。

⑤TCSCの不安定現象についての検討

TCSCのコンデンサの静電容量を $146\mu\text{F}$ から $73\mu\text{F}$ に変更し、不安定現象について解析

を行った。その結果、高調波の影響からコンデンサ電圧が半周期間に数回のゼロクロスを起こすことによりサイリスタが正しく点弧できなくなることが原因であることを確認した。また電力動揺の抑制効果を向上するにはコンデンサの静電容量を小さくし、TCSCの等価インピーダンスを大きくすることで効果があるが、TCSCが安定に動作が行える領域を正確に把握し、その領域で使用する事が重要であることを示した。

(3) 分散型電源の系統連系における課題の検討

既設の太陽光・風力発電のハイブリッド発電システムを模擬送電設備に連系して、分散型電源の系統連系における課題を検討した。具体的には、高調波、単独運転状態の解析などを行った。しかし有効な対策を見いだせていない。今後の課題として残った。

(4) キャンパス配電系統の実験実証

(1)に述べたような配電系統の課題が検討できるようになり、所期の目的は達成された。

(5) キャンパス配電系統を活用した電力系統実証実験システムの構築

以上を総合して、従来の実験室の枠をはるかに越え出た大規模の実験実証システムを構築することができた。

従来送電系統の課題と配電系統の課題は切り分けて論じられているが、元来一つの系統を構成している。したがって相互に影響し合うことになる。特に、高調波分布、電圧不平衡、周波数変動、安定度など、両系統を一体として論ずべき課題も少なくない。

実験室模擬送電線系統では、従来、室内3相電源をいわゆる無限大母線とみなしている。しかし実際にはキャンパス配電系統の一部であり、完全な無限大母線ではない。また電圧不平衡もある。

今回NCTを活用してキャンパス配電系統各所の常時の状態把握が可能となり、実験実証システムとしての模擬送電線設備の精度も格段に向上させるためのデータが得られた。

①実験室と上位系統であるキャンパス配電系統を統合して実験室内模擬送電設備で三相短絡事故を起こし、実測値とシミュレーションを比較して上位系統への影響の把握と無限大母線の位置の検証を行った。

その結果、事故による影響がどのように上位系統に及ぶか、また無限大母線の位置はキャンパス配電系統より上位系統に存在する事などが明らかになった。

また実測値とシミュレーションの比較では電流増加率、キャンパス各所の電圧降下率において共に影響が見られたが、事故中での電流の波形のズレ、電圧降下率ではシミュレーション結果は実験結果を十分に模擬でき

ていないことが明らかとなった。

今後の課題としては実測値とシミュレーションの違いを検討し、シミュレーションの精度向上を図っていくことが必要である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 6 件)

① Y. Hayashi, S. Kawasaki, J. Matuki, S. Sakai, Y. Fuwa, K. Mori, "Multi Evaluation Method of Distribution Network with Distributed Generators", International Journal of Innovations in Energy Systems and Power (2008) Vol 3 / no. 2, 1-7, 査読有り

② J. Matsuki, Lan Hong: "Online TCSC Parameter Tuning for Power System Stability", Proceedings of the International Conference on Electrical Engineering, ICEE-502(2007.7)、査読有り

③ J. Matsuki, Y. Saito: "Improvement of power system stability by TCSC", Proceedings of the International Conference on Electrical Engineering, ICEE-500(2007.7)、査読有り

④ J. Matsuki, Y. Hayashi, K. Shouji A. Ito: "Seasonal Change of Power Quality Based on Real Data at the Distribution System of Fukui University Campus", Proceedings of the ICEE International Conference on Electrical Engineering, ICEE-487(2007.7)、査読有り

⑤ 林 泰弘, 松木純也, 米澤 浩則 「TCSCを用いた送電ネットワークの混雑管理手法」電気学会論文誌B (2007) 127 / 10, 1073-1079、査読有り

⑥ 松木 純也, 林 泰弘, 北島 俊介, 高橋雅浩, 村田 憲治「統合電力潮流制御装置(UPFC)の基本特性の実験と解析」電気学会論文誌B (2006) 126 / 6, 605-610、査読有り

〔学会発表〕(計 13 件)

①山口 博史、村松 宏樹、林 泰弘、松木純也: TCSCの動作特性の検討、平成 20 年度電気関係学会北陸支部連合大会、A-52(2008.9)

② 松木 純也、林 泰弘、山口 博史:「サイリスタ制御直列コンデンサ(TCSC)の点弧角切り替え制御による動揺抑制効果」電気学会 電力技術・電力系統技術合同研究会、PE-08-94/PSE-08-103(2008.8)

③松木 純也、林 泰弘、川崎 章司、伊藤彰俊、橋谷 堯憲、高橋 伸幸:「キャンパス配電系統における電力需要の年変化に

関する一考察」、平成 19 年度電気関係学会北陸支部連合大会、(2007.9)

④松木 純也、林 泰弘、川崎 章司、伊藤彰俊、橋谷 堯憲:「キャンパス配電系統における電力品質の年間変化に関する検討」、平成 19 年電気学会電力・エネルギー部門大会、410(2007.9)

⑤松木 純也、林 泰弘、川崎 章司、高橋伸幸:「キャンパス配電系統における電力品質の実態把握と品質向上策の検討」、電気学会 電力系統技術合同研究会、PE-08-25/PSE-08-34(2007.8)

⑥松木 純也、林 泰弘、川崎 章司、伊藤彰俊:「キャンパス配電系統における高調波インピーダンスに関する研究」、平成 19 年電気学会全国大会、6-107(2007.3)

⑦松木 純也、林 泰弘、川崎 章司、伊藤彰俊、橋谷 堯憲:「キャンパス配電系統における電力品質の季節変化」、平成 19 年電気学会全国大会、6-106(2007.3)

⑧ 豊田 尚弘、松木 純也、林 泰弘、川崎 章司、斉藤 良幸:「無付加変圧器加圧時におけるTCSCを用いた過電圧制御に関する研究」平成 18 年度電気関係学会北陸支部連合大会、A-69(2006.9)

⑨榎本 昌高、松木 純也、林 泰弘、川崎章司:「統合電力潮流制御装置(UPFC)の直列補償部シミュレーションモデルの作成」、平成 18 年度電気関係学会北陸支部連合大会、A-59(2006.9)

⑩斉藤 良幸、松木 純也、林 泰弘、洪嵐:「TCSCおよびPSSを付加したAVRを用いた電力系統安定度向上の検討」、平成 18 年度電気関係学会北陸支部連合大会、A-56(2006.9)

⑪洪 嵐、松木 純也、林 泰弘、片山 雅之、斉藤 良幸:「TCSCの遠隔制御による電力系統安定度向上に関する研究」、平成 18 年度電気関係学会北陸支部連合大会、A-46(2006.9)

⑫松木 純也、林 泰弘、川崎 章司、伊藤彰俊、橋谷 堯憲:「キャンパス配電系統における電力品質の季節変化に関する検討」、平成 18 年度電気関係学会北陸支部連合大会、A-50(2006.9)

⑬松木 純也、林 泰弘、川崎 章司、伊藤彰俊:「NCTを用いた配電系統電力品質の実態把握」、平成 18 年度電気関係学会北陸支部連合大会、A-45(2006.9)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松木 純也 (MATSUKI JUNYA)

福井大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号: 90089110